Journal of Horticultural Science
https:// jhs.um.ac.ir

Research Article
Vol. 36, No. 1, Summer 2022, p. 355-371

Evaluation of Growth Indices of Common Bean (*Phaseolus vulgaris* L.) and Moldavian balms (*Dracocephalum moldavica*) at Different Intercropping Patterns in Presence of Microorganisms

M. Bagheri Hamidi[1], M.H. Rasouli-Sadaghiani[2], E. Rezaei-Chiyaneh[3], M. Barin[4*]

Received: 25-11-2020 Revised: 30-01-2021 Accepted: 26-09-2021 Available Online: 21-08-2022	**How to cite this article:** Bagheri Hamidi M., Rasouli-Sadaghiani M.H., Rezaei-Chiyaneh E., and Barin M. 2022. Evaluation of Growth Indices of Common Bean (*Phaseolus vulgaris* L.) and Moldavian balms (*Dracocephalum moldavica*) at Different Intercropping Patterns in Presence of Microorganisms. Journal of Horticultural Science 36(2): 355-371. (In Persian with English abstract) **DOI**: 10.22067/JHS.2021.67092.0

Introduction

The use of intercropping and the potential of microorganisms such as *Arbuscular mycorrhizal* fungi (AMF) and Plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) is one of the important strategies in sustainable agriculture. Intercropping is multiple cropping systems, in which two or more crop species planted simultaneously in a field during a growing season. Of course, this does not mean that in the intercropping, plants can be planted at a time together, but is the purpose that two or more crops are together in one place, during their growing season or at least in a time frame. Therefore, it is possible that plants are different in terms of planting date, and a plant is planted after the other plant. Potential benefits of intercropping are such as high productivity and profitability, improvement of soil fertility, efficient use of resources, reduction in the damages caused by pests and weeds, better lodging resistance and yield stability. On the other hand, the use of AMF and PGPR as biofertilizers can play a role in improving plant nutrition, plant growth and product quality. The aim of this study was to study the effect of AMF and PGPR inoculation on plant growth indices in bean-Moldavian balm intercropping.

Materials and Methods

This experiment was conducted in the Agricultural Research Greenhouse of Urmia University, Located in 11 kilometers Sero road of the city of Urmia, Iran (*latitude* 36° 57′ N, longitude 45° 24′ E and 1321 m elevation) in 2017. The climate of the area is a Hot-summer Mediterranean climate bordering continental climate with cold winters, mild springs, hot dry summers, and warm autumns. This experiment was carried out in a factorial based on a randomized complete block design with three replications. The factors including microbial inoculation {(AMF, PGPR, AMF+PGPR and without microbial inoculation) and planting patterns (Sole cropping of Moldavian balms and bean, 1 row bean+ 1 row Moldavian balms (1:1), 2 rows bean+ 1 row Moldavian balms (2:1), 1 row bean+ 2 rows Moldavian balms (1:2) and 2 rows bean+ 2 row Moldavian balms (2:2)}. For this purpose, soil samples were prepared from Naqhadeh city in West Azerbaijan Province in Iran. In order to greenhouse tests, the soils added to the pots (in each pot containing 45 kg of soil). In treatments, soil used with microbial inoculation. Microbial strains were used for microbial inoculation including PGPR (*P. aeruginosa*, *P.fluorescens* and *P. putida*) and AMF (*Funneliformis mosseae*, *Rhizophagus irregularis* and *Claroideoglomus etunicatum*). For plant cultivation, been (*Phaseolus vulgaris L.*) and moldavian balms (*Dracocephalum moldavica*) seeds cultivar were grown in pots. At the end of the growth period, the characteristics of the agronomic traits in the bean plant were including plant height, number of seeds per pod, 1000 seed weight, biomass yield and Seed yield, and in Moldavian Balm were including, plant height, biomass yield and essential

1, 2 and 4- Graduate Student of M.Sc. Student, Professor and Associate Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran, respectively.
(*- Corresponding Author Email: m.barin@urmia.ac.ir)
3- Associate Professor, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran

oil percentage were determined. In addition, the land equivalent ratio (LER) was calculated to determine the advantages of intercropping. The analysis of variance for the obtained data was done by statistical analysis system (SAS 9.4) software. The mean comparison was done using the Duncan test at the 5% probability level.

Results and Discussion

The results showed that the different intercropping and microbial inoculation had a significant effect on all traits, in Moldavian balms and common beans. All the plant growth indices in common bean-Moldavian balm intercropping were the highest in the combined treatment of AMF +PGPR, compared to another treatment. The highest and the lowest seed and biomass yield of bean were achieved in sole cropping with 3.20 and 9.70 g and 1:1 with 1.57 and 4.41 g, respectively. The maximum biomass yield and other traits of Moldavian balm obtained under sole cropping, while essential oil percentage was higher in all intercropping patterns than in sole cropping patterns. The main constituents of Moldavian balms essential oil were Geranyl acetate, Geranial, Geraniol and Neral. The highest LER value (1.67) was obtained from 2:2 intercropping in PGPR inoculation.

Conclusion

In general, the results showed that all of the plant growth indices of Moldavian balms and bean in sole cropping were higher than other intercropping patterns; however higher LER was observed in intercropping with microbial inoculation. This shows more exploitation of unit area in intercropping. In addition, the greater amount of LER in replacement intercropping than additive intercropping highlights the necessity of appropriate density of plants per unit area in the intercropping. It can be concluded that application of intercropping with combined application of AMF and PGPR leads to improvement on yield and yield components of plant.

Keywords: Essential oil, Intercropping, Land equivalent ratio, Microbial inoculation, Sustainable agriculture

نشریه علوم باغبانی
https:// jhs.um.ac.ir

مقاله پژوهشی

جلد ۳۶، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۱، ص ۳۷۱-۳۵۵

بررسی شاخص‌های رشدی لوبیا قرمز (*Phaseolus vulgaris* L.) و بادرشبی (*Dracocephalum moldavica*) در الگوهای مختلف کشت مخلوط در حضور ریزجانداران

مینا باقری[۱]- میرحسن رسولی صدقیانی[۲]- اسماعیل رضایی چیانه[۳]- محسن برین[۴]*

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۹/۰۵
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۷/۰۴

چکیده

این مطالعه با هدف ارزیابی اثر تلقیح میکروبی بر عملکرد و اجزای عملکرد بادرشبی و لوبیا قرمز در کشت خالص و مخلوط بصورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در شرایط گلخانه‌ای در دانشگاه ارومیه اجرا گردید. فاکتورها شامل تلقیح میکروبی (باکتری‌های PGPR، AMF، تلقیح تلفیقی AMF + PGPR و بدون تلقیح) و الگوهای کشت [(یک ردیف بادرشبی +یک ردیف لوبیا (۱:۱)، دو ردیف بادرشبی+ دو ردیف لوبیا (۲:۲)، دو ردیف بادرشبی+ یک ردیف لوبیا (۲:۱)، یک ردیف بادرشبی+ دو ردیف لوبیا (۱:۲) و کشت خالص لوبیا و بادرشبی] بودند. صفات مورد بررسی برای لوبیا شامل ارتفاع بوته، تعداد شاخه‌های فرعی، تعداد نیام در بوته، تعداد دانه در نیام، وزن هزار دانه، عملکرد دانه و زیست‌توده، برای گیاه بادرشبی شامل ارتفاع بوته، تعداد برگ، تعداد شاخه‌های فرعی، عملکرد زیست‌توده و درصد اسانس بود. نتایج نشان داد که صفات اندازه‌گیری شده برای دو گونه تحت تأثیر الگوهای مختلف کشت قرار گرفتند. بیشترین عملکرد زیست‌توده و عملکرد دانه لوبیا به‌ترتیب با ۹/۷۰ و۳/۲۰ گرم بوته از کشت خالص لوبیا حاصل شد. اثر نوع تلقیح میکروبی نیز بر صفات مورد بررسی لوبیا و بادرشبی معنی‌دار بود. به‌طوری‌که بیشترین عملکرد دانه لوبیا و بالاترین درصد اسانس (۰/۵۲ درصد) بادرشبی در تیمار تلقیح تلفیقی AMF+PGPR مشاهده گردید. . آنالیز ترکیبات شیمیایی اسانس بادرشبی نشان داد که Geranyl acetate، Geranial، Geraniol و Neral ترکیبات اصلی بودند که در کشت مخلوط تحت کاربرد کودهای زیستی بهبود یافتند. همچنین، نسبت برابری زمین در تمام الگوهای کشت مخلوط بیشتر از یک بود و بالاترین میزان این شاخص (۱/۶۷) از تیمار کشت مخلوط ۲:۲ در شرایط تلقیح با PGPRها حاصل شد که معادل ۶۷ درصد افزایش در بهره‌وری استفاده از زمین (نسبت به کشت خالص دو گونه) بود. به نظر می‌رسد که این الگو می‌تواند در بهبود بهره‌وری استفاده از زمین‌های کشاورزی، به ویژه در نظام‌های تولید گیاهان دارویی، مناسب‌تر باشد.

واژه‌های کلیدی: اسانس، تلقیح میکروبی، کشاورزی پایدار، کشت مخلوط، نسبت برابری زمین

مقدمه

افزایش رو به رشد جمعیت جهان و میزان تقاضا برای مواد غذایی و به تبع آن نیاز ویژه به افزایش تولید محصولات کشاورزی از مشکلات اساسی جهان به شمار می‌رود. این در حالی است که میزان اراضی جدید جهت توسعه سطح زیرکشت بسیار محدود است (Alizadeh *et al.*, 2019). به همین خاطر، نظام‌های کشاورزی رایج جهت بالا بردن بازده محصول در واحد سطح به استفاده از کودهای شیمیایی اتکا نموده‌اند، ولی مصرف کودهای شیمیایی موجب ایجاد مشکلات جدی به صورت مستقیم و غیر مستقیم برای انسان‌ها و محیط زیست شده است (Mohammadi and Rezaei-Chiyane, 2019). برای رفع چنین مشکلاتی تمایل به استفاده از نظام‌های پایدار کشاورزی و استفاده از کشت مخلوط گیاهان زراعی و پتانسیل ریز جانداران مفید خاکزی به عنوان مهم‌ترین تکنیک‌ها در کشاورزی پایدار ارائه شده است (Rezaei-Chiyaneh *et al*., 2020). کشت‌های مخلوط، به عنوان یک سیستم جایگزین شکل پیچیده‌تری از چند کشتی هستند که در آن‌ها دو یا

۱، ۲ و ۴- به‌ترتیب دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، استاد و دانشیار گروه مهندسی علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: m.barin@urmia.ac.ir)
۳- دانشیار گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

DOI: 10.22067/JHS.2021.67092.0

چند گونه به طور همزمان در یک قطعه زمین در طی یک فصل زراعی رشد داده می‌شوند (Mohammadi and Rezaei-Chiyane, 2019). هدف اصلی کشت مخلوط، دستیابی به بهره‌وری بیشتر از طریق افزودن منابع محیطی مکمل، افزایش تنوع و پایداری کشاورزی، کاهش آلودگی محیط زیست، کنترل علف‌های هرز و همچنین کاهش حساسیت به حشرات و بیماری‌ها در مقایسه با سیستم‌های تک کشتی است (Amani Machiani *et al*., 2018).

استفاده از پتانسیل ریز جانداران مفید خاکزی مانند قارچ‌های میکوریز آربوسکولار (AMF[1]) و باکتری‌های محرک رشد گیاه (PGPR[2]) تحت عنوان کودهای زیستی می‌توانند در بهبود تأمین نیازهای غذایی گیاهان، رشد گیاه و افزایش کیفیت محصولات نقش ایفا کنند. باکتری‌های PGPR از طریق مکانیسم‌های تغذیه‌ای و فیزیولوژیکی مختلفی مانند حل کنندگی فسفات، تثبیت نیتروژن در ریزوسفر، تولید هورمون‌های گیاهی (اکسین، سیتوکنین، جیبرلین و اتیلن)، افزایش حلالیت ترکیبات نامحلول و کم محلول عناصر غذایی و افزایش فراهمی آن‌ها از طریق تولید اسیدهای آلی و معدنی، تولید فسفاتازها، کنترل عوامل بیماری‌زا از طریق تولید سیدروفور و آنتی‌بیوتیک‌ها باعث بهبود رشد و سلامت گیاه می‌شوند (Vahedi *et al*., 2018). قارچ‌های AMF نیز از طریق مکانیسم‌های مختلفی حلالیت عناصر موجود در خاک را که در حالت عادی غیر قابل جذب برای گیاه می‌باشند، افزایش داده و با گسترده کردن شبکه هیف‌های خود در خاک، افزایش سطح و سرعت جذب ریشه گیاه را افزایش می‌دهند (Weisany *et al*., 2016).

علیزاده و همکاران (Alizadeh *et al*., 2019) در بررسی کشت مخلوط گیاه بزرک و باقلا گزارش کردند که کشت مخلوط دو گونه به همراه کاربرد کودهای زیستی باعث افزایش میزان جذب عناصر غذایی و نسبت برابری زمین در کشت مخلوط در مقایسه با شرایط تک کشتی می‌گردد. مطالعه بر روی کشت مخلوط رازیانه و لوبیا تحت تاثیر ریزوباکتری‌های محرک رشد گیاه نیز نشان دهنده بهبود عملکرد دو گونه و اسانس رازیانه در کشت مخلوط و افزایش نسبت برابری زمین را در کشت مخلوط نسبت به شرایط تک کشتی نشان داد (Rezaei-Chiyaneh *et al*., 2020). بررسی کشت مخلوط شبدر بریسم و گیاه ریحان نشان داد که وزن خشک اندام‌های رویشی ریحان در کشت مخلوط کمتر از کشت خالص بود، در حالی‌که درصد اسانس در کشت مخلوط بیشتر از کشت خالص بود (Daneshnia et al., 2015). کوچکی و همکاران (Koocheki et al., 2020) نیز با کشت مخلوط گیاه دارویی روغنی بزرک و کنجد افزایش معنی‌دار وزن هزار دانه، تعداد دانه در کپسول و تعداد کپسول در بوته در گیاه دارویی روغنی بزرک و کنجد را گزارش کردند.

انتخاب گیاه برای کشت مخلوط دارای اهمیت زیادی می‌باشد و این انتخاب بایستی در جهت بهبود عملکرد در واحد سطح و برتری کشت مخلوط نسبت به تک کشتی صورت گیرد. حبوباتی مانند لوبیا به علت همزیستی با ریزجانداران نقش مؤثری در افزایش حاصلخیزی خاک دارند و به همین دلیل در تناوب با سایر گیاهان زراعی کشت شده و یا به عنوان کود سبز مورد استفاده قرار می‌گیرند. همچنین بادرشبی گیاهی علفی، یکساله و متعلق به تیره نعناعیان بوده و تمام اندام گیاه حاوی اسانس است و مقدار آن در گل، برگ‌ها و ساقه‌های جوان بیشتر از سایر قسمت‌های گیاه است.

با توجه به اینکه لوبیا توانایی و سازگاری زیادی در الگوهای کشت مختلف دارد و کشت مخلوط لوبیا و گیاه دارویی مانند بادرشبی می‌توانند علاوه بر کاهش مصرف کودهای شیمیایی و افزایش حاصلخیزی خاک منجر به بهبود عملکرد کمی و کیفی گیاه تولید شده گردد. لذا با توجه به مطالب فوق و اهمیت کشت مخلوط و جایگاه حبوبات و گیاهان دارویی در کنار استفاده از کودهای زیستی در کشور، تحقیق حاضر با هدف بررسی عملکرد کمی و کیفی بادرشبی در کشت مخلوط با لوبیا تحت تاثیر باکتری‌های PGPR و قارچ AMF اجرا گردید.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در سال زراعی ۱۳۹۷ در گلخانه گروه باغبانی دانشکده کشاورزی دانشگاه ارومیه، واقع در ۱۱ کیلومتری شمال غرب ارومیه در پردیس نازلو اجرا شد. این منطقه با عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۵۷ دقیقه و طول جغرافیایی ۴۵ درجه و ۲۴ دقیقه با ارتفاعی برابر ۱۳۲۱ متر از سطح دریا واقع شده است. برای انجام این پژوهش، خاک زراعی مورد استفاده از شهرستان نقده واقع در استان آذربایجان غربی تهیه و بعد از هوا خشک کردن از غربال ۲ میلی‌متری عبور داده شد. سپس برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی به روش‌های استاندارد اندازه‌گیری شدند (Sparks *et al*., 1996) (جدول ۱).

برای انجام آزمون گلخانه‌ای، آزمایش بصورت فاکتوریل و با دو فاکتور در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار که شامل تلقیح میکروبی (باکتری‌هایPGPR، AMF، تلقیح تلفیقی PGPR + AMF و بدون تلقیح) و الگوهای کشت مخلوط (یک ردیف لوبیا +یک ردیف بادرشبی (۱:۱)، دو ردیف لوبیا + یک ردیف بادرشبی (۲:۱)، یک ردیف لوبیا + دو ردیف بادرشبی (۱:۲)، دو ردیف لوبیا + دو ردیف بادرشبی (۲:۲)، کشت خالص لوبیا و خالص بادرشبی) بود، که در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه ارومیه اجرا گردید (شکل ۱).

1- Arbuscular mycorrhizal fung

2- Plant growth promoting rhizobacteria

جدول ۱- برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک

Table 1- Some physical and chemical properties of soil

K	P	N	ماده آلی O.M	نشت الکترونی EC	pH	بافت خاک soil texture
(mg.kg^{-1})		(%)		(dS.m^{-1})		
400	12.50	0.1	1.01	0.85	7.5 0	لومی رسی Clay Loam



شکل ۱- لوبیا قرمز و بادرشبی در مرحله رشد رویشی

Figure 1- *Phaseolus vulgaris* L. and *Dracocephalum moldavica* in vegetative stage of growth

برای انجام آزمون‌های گلخانه‌ای، ۴۵ کیلوگرم خاک برای هر گلدان به ابعاد ۸۰×۲۵×۲۵ سانتی‌متر (طول×عرض× ارتفاع) منتقل گردید. دمای گلخانه ۳ ± ۲۵، رطوبت نسبی ۷۰ -۵۰ درصد و شدت نور ۵۰۰-۴۰۰ میکرومول بر متر بر ثانیه بود. برای تلقیح میکروبی از سویه‌های میکروبی شامل گونه‌های سودوموناس‌های (ترکیبی از گونه‌های *Pseudomonas aeruginosa*، *P.fluorescens* و *P. putida*) و گونه‌های قارچ میکوریز (*Funneliformis mosseae*, *Rhizophagus irregularis* و *Claroideoglomus etunicatum*) استفاده گردید. برای تلقیح بذرها از روش اضافه کردن محلول باکتری‌ها (۷۵ میلی‌لیتر از سوسپانسیون برای هر گلدان) استفاده شد. مقدار ۴۰ گرم قارچ‌های میکوریز برای بذر هر گیاه بود. برای تلقیح تلفیقی نیز روش مایه‌زنی بذر و اضافه کردن قارچ میکوریز به‌همان روش قبل اعمال شد. برای کشت گیاه به روش کشت مخلوط از نوع جایگزینی، بذرهای لوبیا قرمز رقم یاقوت و بادرشبی از توده محلی ارومیه پس از ضدعفونی با هیپوکلریت سدیم ۰/۵ درصد در گلدان‌ها کشت گردیدند.

فاصله بین ردیف‌های دو گونه ۱۳ سانتی‌متر و روی ردیف‌ها پنج سانتی‌متر برای هر دوگیاه در نظر گرفته شد. در نتیجه تراکم نهایی در کشت خالص برای هر دو گونه ۱۵/۸۴ بوته در متر مربع بود. آبیاری بر حسب نیاز گیاهان انجام گردید. عملیات وجین علف‌های هرز در طول فصل رشد بنا بر ضرورت به طور مرتب به صورت دستی کنترل شدند. برداشت لوبیا بعد از ۱۱۲ روز زمانی‌که نیام‌های لوبیا حدود۸۰-۷۰ درصد رسیده و رنگ آن‌ها زرد شده و دانه‌های لوبیا خشک شده بودند، انجام شد. در این زمان بادرشبی در مرحله گلدهی کامل بود. جهت اندازه‌گیری خصوصیات مورفولوژیکی و اجزای عملکرد از هر گلدان شش بوته از هر گونه گیاهی به صورت تصادفی انتخاب شد. سپس بوته‌ها به آزمایشگاه منتقل و اندازه‌گیری صفاتی مانند ارتفاع بوته، تعداد شاخه‌های فرعی و تعداد برگ در بوته، تعداد نیام در بوته، تعداد دانه در نیام، وزن هزاردانه و عملکرد دانه در گیاه لوبیا و ارتفاع بوته، تعداد شاخه‌های فرعی، تعداد برگ و عملکرد زیست‌توده برای بادرشبی انجام گردید. اندازه‌گیری عملکرد دانه لوبیا و عملکرد زیست توده بادرشبی با حذف تأثیرات حاشیه‌ای، دو ردیف کناری گلدان‌ها حذف شده و از مساحت باقی‌مانده محاسبه گردید.

استخراج اسانس بادرشبی به‌وسیله دستگاه کلونجر (Clevenger,

1982) و با روش تقطیر با آب و دستگاه اسانس‌گیر صورت پذیرفت. ارزیابی مواد موثره اسانس رازیانه با دستگاه گاز کروماتوگراف (Agilent 7890A-5975C, USA) دارای انجکتور split/splitless و ستون موئینه به طول ۳۰ متر و قطر داخلی ۰/۲۵ میلی‌متر و ضخامت فیلم ۲۵۰ میلی‌متر انجام شد. دتکتور دستگاه از نوع یونیزه و اشعه با حرارت ۲۱۰ درجه سانتی‌گراد است که در آن گاز هیدروژن و هوا با سرعت ۴۰ میلی لیتر بر دقیقه عبور داده می‌شود. از گاز هلیوم فوق خالص با سرعت عبور یک میلی‌لیتر در دقیقه به عنوان گاز حامل استفاده شد. پیک‌های خروجی براساس زمان بازداری با نمونه‌های استاندارد و از کتابخانه جرمی Wily 2007 و NIST 2005 مقایسه و شناسایی شد و بر اساس سطح زیر منحنی تعیین غلظت شدند.

برای ارزیابی کشت مخلوط لوبیا با بادرشبی در مقایسه با کشت خالص از شاخص نسبت برابری زمین (LER: Land Equivalent Ratio) (بر اساس عملکرد دانه) طبق معادله استفاده گردید (۲):

$$LER = \frac{Y_1}{F_1} + \frac{Y_2}{S_2} \quad (۱)$$

در این معادله، Y_1 و Y_2: به ترتیب عملکرد کشت مخلوط در گونه‌های اول و دوم و F_1 و S_2: نیز عملکرد کشت خالص در گونه اول و دوم است.

تجزیه و تحلیل آماری شامل تجزیه واریانس و مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد با نرم افزار SAS 9.4 و رسم نمودارها با نرم‌افزار Excel انجام گردید.

نتایج و بحث

لوبیا

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر اصلی الگوی کشت و تلقیح میکروبی بر کلیه صفات اندازه‌گیری شده (ارتفاع بوته، تعداد شاخه‌های فرعی، تعداد نیام در بوته، تعداد دانه در نیام، وزن هزاردانه، عملکرد زیست‌توده و عملکرد دانه) لوبیا ($p≤۰/۰۱$) معنی‌دار بود. در حالی که اثرات متقابل تیمارهای ذکر شده بر هیچ یک از صفات مذکور معنی‌دار نشد (جدول ۲).

جدول ۲- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) کشت مخلوط و تلقیح میکروبی بر عملکرد و اجزاء عملکرد لوبیا قرمز

Table 2- ANOVA (mean of squares) for intercropping pattern and microbial inoculation on yield and yield components of *Phaseolus vulgaris* L.

منابع تغییرات Sources of variation	درجه آزادی Degree of freedom	ارتفاع بوته plant height	تعداد دانه در نیام Number of seeds per pod	وزن هزاردانه 1000 seed-weight	عملکرد زیست-توده Biomass yield	عملکرد دانه Seed yield
تکرار Replication	2	5.602^{ns}	0.16^{ns}	197.99^{ns}	14.44*	0.219*
الگوی کشت Planting pattern (P)	4	35.908**	2.548**	5531.41**	43.397**	4.491**
تلقیح میکروبی Microbial inoculation (M)	3	82.754**	2.949**	8061.781**	46.470**	3.549**
P×M	12	2.469^{ns}	0.083^{ns}	138.614^{ns}	0.850^{ns}	0.036^{ns}
خطا Error	38	5.40	0.057	99.67	0.446	0.053
ضریب تغییرات CV (%)	-	9.94	7.90	3.81	7.32	9.51

ns، * و ** به ترتیب غیر معنی‌دار، معنی دار در سطح احتمال ۵ و ۱درصد

ns, * and ** non-significant, significant at 5% and 1% of probability level, respectively.

ارتفاع بوته

نتایج نشان دادند (جدول ۳) که بیشترین (۲۵/۶۷ سانتی‌متر) و کمترین (۲۱/۱۰ سانتی‌متر) ارتفاع بوته در بین الگوهای مختلف کشت به ترتیب از کشت خالص لوبیا و کشت مخلوط ۱:۱ حاصل شد. اما

اختلاف معنی‌داری بین کشت خالص لوبیا با کشت مخلوط ۲:۱ از نظر ارتفاع بوته مشاهده نشد. تیمارهای کشت مخلوط ۱:۱ و ۲:۲ نیز با هم اختلاف معنی‌داری نشان ندادند. دلیل کاهش ارتفاع بوته لوبیا در کشت مخلوط نسبت به کشت خالص می‌تواند به دلیل رقابت گیاهان در یک جامعه‌ی گیاهی باشد. در کشت مخلوط ارتفاع بوته روی رقابت نوری مؤثر است، زیرا به دلیل رقابت بین بوته‌ها بر سر آب، مواد غذایی و فضای زیستی سبب کاهش جذب نور و در نتیجه کاهش رشد لوبیا شده و به تبع آن ارتفاع را در کشت مخلوط کاهش داده است. از طرف دیگر، با توجه به اینکه بادرشبی نسبت به لوبیا دارای ارتفاع بیشتری است به نظر می‌رسد که لوبیا در کشت مخلوط فشار رقابتی بیشتری را متحمل شده و به دلیل محدودیت تولید مواد فتوسنتزی باعث کاهش رشد رویشی و در نتیجه ارتفاع آن شده است (Hamzei and Sedighi Kamel, 2020). نتایج تحقیق، همسو با تحقیق رضایی چیانه و قلی‌نژاد (Rezaei-Chiyaneh and Gholinezhad, 2015) است آن‌ها نیز کاهش ارتفاع نخود در کشت مخلوط با سیاهدانه نسبت به کشت خالص لوبیا را به افزایش رقابت برون گونه ای دو گونه بر سر منابع محیطی، کاهش جذب نور و مواد غذایی نسبت دادند. چنین به نظر می‌رسد که در کشت مخلوط لوبیا با بادرشبی نیز به دلیل افزایش رقابت بر منابع محیطی و کاهش تولیدات مواد فتوسنتزی ارتفاع لوبیا کاهش یافت.

کاربرد تلقیح میکروبی تأثیر قابل توجهی در افزایش ارتفاع لوبیا داشت (جدول ۴). بطوری‌که، بیشترین (۲۵/۸۴سانتی‌متر) و کمترین (۲۰/۱۹ سانتی‌متر) ارتفاع بوته به ترتیب با کاربرد تلفیقی PGPR+AMF و عدم مصرف (شاهد) حاصل شد. افزودن کودهای بیولوژیک سبب تأمین عناصر غذایی مورد نیاز گیاه شده و در نتیجه موجب تقسیم و طویل شدن سلول‌های گیاهی می‌شود (Alizadeh *et al.*, 2019). از دلایل اصلی افزایش ارتفاع بوته بر اثر کاربرد کودهای زیستی، بیشتر شدن طول میانگره‌های گیاه است که این عمل به دلیل تحریک تولید هورمون‌های محرک رشد گیاه از جمله اکسین توسط این کودها گزارش شده است (Nagananda *et al.*, 2010). در تطابق با نتایج پژوهش حاضر، علیزاده و همکاران (Alizadeh *et al.*, 2019) گزارش کردند که کاربرد کود زیستی منجر به افزایش ۱۸/۴۱ درصدی ارتفاع بوته بزرک نسبت به عدم مصرف آن گردید. این محققین بیان کردند که کاربرد تلفیقی قارچ میکوریزا و باکتری های تامین کننده عناصر غذایی از طریق بهبود جذب عناصر تاثیر مثبتی بر صفات رشدی از قبیل ارتفاع بوته در این گیاه داشته است.

جدول ۳- مقایسه میانگین عملکرد و اجزاء عملکرد لوبیا در الگوهای مختلف کشت مخلوط با بادرشبی

Table 3- Mean comparisons of the yield and yield components of common bean at different intercropping patterns with Moldavian balms

الگوی کشت **Planting pattern**	ارتفاع بوته **Plant height (cm)**	تعداد دانه در نیام **Number of seeds per pod**	وزن هزاردانه **1000 seed-weight (g)**	عملکرد زیست-توده **Biomass yield (g.plant^{-1})**	عملکرد دانه **Seed yield (g.plant^{-1})**
کشت خالص لوبیا قرمز Solecropping of common bean	25.67a	3.72a	299.15a	9.70a	3.26a
یک ردیف بادرشبی+ یک ردیف لوبیا قرمز One row Moldavian balms +one row common bean	21.10c	2.47d	246.64c	4.41d	1.57d
دو ردیف بادرشبی+ دو ردیف لوبیا قرمز (۲:۲) Two rows Moldavian balms +Two rows common bean	22.43bc	3.15b	258.33b	7.52b	2.44b
دو ردیف بادرشبی+ یک ردیف لوبیا قرمز (۲:۱) Two rows Moldavian balms +One row common bean	24.16ab	2.95c	260.66b	7.33b	2.62b
یک ردیف بادرشبی+دو ردیف لوبیا قرمز (۱:۲) One row Moldavian balms +Two rows common bean	23.52b	2.82c	247.87c	6.64c	2.24c

میانگین‌های داری حروف مشترک بر اساس آزمون چنددامنه‌ای دانکن درسطح احتمال ۵ درصد اختلاف آماری معنی‌داری ندارند.

Means with similar letters are not significantly different at 5% of probability level according to Duncan’s multiple range test.

جدول ۴- اثر تلقیح میکروبی بر عملکرد و اجزاء عملکرد لوبیا قرمز

Table 4- The effect of microbial inoculation on yield and yield components of *Phaseolus vulgaris* L.

تلقیح میکروبی Microbial inoculation	ارتفاع Height (cm)	عملکرد و اجزای عملکرد Yield and yield components تعداد دانه در نیام Number of seeds per pod	وزن هزاردانه 1000 seed-weight (g)	عملکرد زیست‌توده Biomass yield (g.plant^{-1})	عملکرد دانه Seed yield (g.plant^{-1})
باکتری‌های محرک رشد PGPR	23.46b	3.03b	265.04b	6.99b	2.39b
قارچهای میکوریز آربوسکولار AMF	23.91b	3.23b	261.79b	7.65b	2.46b
قارچهای میکوریز آربوسکولار+ باکتری‌های محرک رشد باکتری های محرک رشد + AMF+PGPR	25.84a	3.56a	289.20a	9.22a	3.02a
بدون تلقیح میکروبی No microbial inoculation	20.19c	2.48c	232.66c	4.92c	1.83c

میانگین‌های داری حروف مشترک بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن درسطح احتمالی ۵ درصد اختلاف آماری معنی‌داری ندارند.

Means with similar letters are not significantly different at 5% of probability level according to Duncan's multiple range test.

تعداد دانه در نیام

الگوهای مختلف کشت اثر معنی‌داری بر تعداد دانه در نیام داشتند (جدول ۳). به طوری‌که کشت خالص لوبیا با ۳/۷۲ عدد تعداد دانـه در نیام بیشترین تاثیر و کشت مخلوط ۱:۱با ۲/۴۷ عدد کمتـرین تـاثیر را در تعداد دانه در نیام داشت. کاهش تعداد دانـه در نیـام در تیمارهـای کشت مخلوط می‌تواند ناشی از کاهش فضای تغذیه‌ای در کشت لوبیـا باشد. کاهش فضای تغذیه‌ای در گیاه باعث می‌شود که حجم کمتـری از خاک در اختیار ریشه‌های گیـاه قـرار گیـرد. لـذا میـزان آب و مـواد غذایی دریافتی کاهش یافتـه و در نتیجـه سـبب کـاهش تولیـد گیـاه می‌شود که در اثر آن میزان انتقال آسیملات به بخش زایشی گیاه نیز کاهش می‌یابد. در چنین شرایطی محدود بودن شیره پـرورده در نیـام به علت عدم تغذیه مناسب منجر به کاهش این صفت و سایر اجـزای عملکـرد خواهـد شـد (Katebi *et al*., 2016). در تطـابق بـا نتـایج پژوهش حاضر، رضـائی چیانـه و همکـاران (Rezaei-Chiyaneh *et al*., 2019) در کشت مخلوط نخود و جو تحت تأثیر کودهای زیسـتی و شیمیایی نتیجه گرفتند که حضور گیاه مکمل (جو) با کـاهش منـابع مؤثر در رشد و همچنین افزایش رقابت بر سر منابع محیطی منجر بـه کاهش اجزای عملکرد نخود از جمله تعداد غلاف در بوته گردید.

استفاده از تلقیح میکروبی تأثیر قابـل تـوجهی در افـزایش تعـداد دانه در نیام داشت (جدول ۴). به گونه‌ای که بیشـترین تعـداد دانـه در نیام (۳/۵۶ عدد) در تیمار تلفیقـی AMF+PGPR و کمتـرین (۲/۴۸ عدد) در تیمار بدون تلقیح میکروبی مشاهده شد. دلیل افـزایش تعـداد دانه در نیام با کـاربرد تلفیقـی کودهـای زیسـتی را مـی تـوان بـه در دسترس قرار گرفتن عناصر غذایی در طول دوره رشدی گیـاه نسـبت داد که در نهایت منجر به بهبود شرایط رشدی گیاه، فتوسنتز بیشـتر و بهبود اجزای عملکرد دو گیاه نسبت داد. هرچـه تعـداد دانـه (مقصـد) بیشتر باشد گیاه دارای ظرفیت بزرگتری برای دریافت مواد فتوسنتزی است و افزایش این صفت منجـر بـه افـزایش عملکـرد خواهـد شـد. خـرم‌دل و همکـاران (Khorramdel *et al*., 2011) بـا بررسـی اثـر تلقیح میکروبی بر عملکرد و اجزای عملکـرد گیـاه دارویـی سـیاهدانه بیان داشتند که بیشـترین تعـداد دانـه در فولیکـول از تیمـار ترکیبـی میکوریزا و آزوسپریلیوم به دست آمد که دلیل آن را بـه بهبـود روابـط آبی گیاه–خاک و جذب بهتر عناصر غذایی نسبت دادند.

وزن هزار دانه

بالاترین میزان وزن هزاردانه به کشت خالص لوبیا مربوط بود که ۱/۵۱ برابر نسبت به کمترین میزان یعنی کشت مخلوط ۱:۱ بیشتر بود (جدول ۳). هر چند که بین کشت مخلوط ۱:۱ با سایر تیمارهای کشت مخلوط اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. وزن هزار دانه از عوامل مهم و تعیین کننده عملکرد دانه است و نقش مهمی در پتانسـیل عملکـرد

یک رقم دارد. کاهش وزن هزار دانه در الگوهای کشت مخلوط به کاهش اجزای عملکرد گیاه و کاهش تجمع آسیمیلات ها نسبت داده می‌شود. رضایی چیانه و قلی‌نژاد (Rezaei-Chiyaneh and Gholinezhad, 2015) نیز همسو با نتایج این تحقیق گزارش کردند که وزن هزار دانه نخود در کشت مخلوط با سیاه دانه نسبت به کشت خالص آن بدلیل افزایش رقابت بین گونه ای اجزای کشت مخلوط و تولید آسیمیلاسیون کمتر کاهش پیدا کرد.

وزن هزاردانه در تیمار تلفیقی تلقیح میکروبی ۱/۲۴ برابر بیشتر از تیمار بدون تلقیح بود (جدول ۴). زمانی که گیاه زراعی در مرحله قبل از گلدهی بوده و در حال رشد سریع می‌باشد، مواد حاصل از فتوسنتز به ریشه‌ها انتقال یافته و تلقیح میکروبی با توسعه ریشه، شرایط را برای جذب بهتر و بیشتر عناصر معدنی فراهم می‌کنند. این امر به نوبه خود باعث افزایش فتوسنتز می‌شود. اضافی مواد فتوسنتزی نیز قبل از گلدهی در ساقه‌ها ذخیره می‌گردد و پس از گلدهی و با نزدیک شدن به دوران رسیدگی با انتقال مجدد، این مواد به اندام زایشی (دانه‌ها) منتقل می‌شوند. شکرانی و همکاران (Shokrani *et al*., 2017) افزایش وزن هزاردانه نخود را تحت تاثیر کاربرد کودهای زیستی در کشت مخلوط با گیاه دارویی بالنگوی شهری را گزارش کردند که با نتیجه تحقیق حاضر مطابقت دارد. محققان دیگر، افزایش وزن هزار دانه در اثر تلقیح قارچ *P. indica* را به افزایش فتوسنتز و انتقال شیره پرورده بیشتر به دانه در مرحله پرشدن دانه در اثر بهبود جذب آب و عناصر غذایی توسط قارچ نسبت داده‌اند (Ilbas and Sahin, 2007).

عملکرد زیست‌توده و عملکرد دانه

الگوهای مختلف کشت مخلوط اثر معنی‌داری بر این شاخص‌های رشدی لوبیا داشتند (جدول ۲). بطوری‌که کشت خالص ۲/۱۹ و ۲/۰۷ برابر بترتیب عملکرد زیست توده و عمکرد دانه را در مقایسه با کشت ۱:۱ افزایش داد. تیمارهای کشت مخلوط ۲:۲ و ۲:۱ از نظر عملکرد دانه و عملکرد زیست‌توده اختلاف معنی‌داری با هم نشان ندادند. از دلایل اصلی کاهش عملکرد دانه در کشت مخلوط شاید بتوان به سایه‌اندازی و افزایش رقابت بین گیاهان لوبیا و بادرشبی اشاره کرد. هیرپا (Hirpa, 2014) در کشت مخلوط ذرت و سویا کاهش عملکرد حبوبات مذکور درکشت مخلوط نسبت به کشت خالص را گزارش کردند. عملکرد دانه و عملکرد زیست‌توده‌ی لوبیا به‌ترتیب افزایش ۱/۸۷ و ۱/۶۵ برابری در شرایط تلقیح تلفیقی نسبت به بدون تلقیح نشان دادند (جدول ۳). رائی و همکاران (Raei *et al*., 2015) اظهار داشتند که همزیستی با قارچ میکوریزا و باکتری ازتوباکتر، میزان جذب عناصر غذایی نیتروژن، فسفر و عناصر ریز مغذی را در گیاه گلرنگ بهبود بخشیده و از این طریق سبب افزایش رشد و نمو و مقدار کلروفیل برگ و متعاقب آن افزایش میزان فتوسنتز گیاه شده و در نهایت افزایش عملکرد و اجزای عملکرد گلرنگ را در پی داشته است. در کشت مخلوط رازیانه و بادرشبی با لوبیا، امانی ماچیانی و همکاران (Amani Machiani *et al*., 2019) گزارش کردند که در کشت مخلوط، عملکرد ماده خشک بادرشبی در مقایسه با کشت خالص به دلیل رقابت بر سر جذب منابع و عمدتاً نور کاهش یافت، اما کاربرد اسید هیومیک توانست به دلیل افزایش جذب عناصر غذایی از خاک عملکرد هر سه گیاه را بهبود ببخشد. در تحقیقی حاضر نیز به نظر می رسد کاربرد کودهای زیستی توانست با تامین به موقع عناصر غذایی عملکرد هر دو گونه را بهبود ببخشد.

بادرشبی

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر الگوی کشت و اثر نوع تلقیح میکروبی بر کلیه صفات مورد بررسی (ارتفاع بوته، تعداد شاخه‌های فرعی، تعداد برگ، عملکرد زیست‌توده و درصد اسانس) بادرشبی ($p\leq0.01$) معنی‌دار بود، اما اثر متقابل بین الگوی کشت و نوع کود زیستی بر هیچ یک از صفات مذکور معنی‌دار نگردید (جدول ۵).

ارتفاع بوته

بیشترین ارتفاع بوته با ۳۲/۲۶ سانتی‌متر در کشت خالص بادرشبی و کمترین با ۲۴/۶۷ سانتی‌متر درکشت مخلوط ۱:۱ مشاهده شد. در حالی‌که بین کشت مخلوط ۱:۱ با کشت مخلوط ۲:۱ از نظر ارتفاع بوته اختلاف معنی‌داری حاصل نشد (جدول ۶).

رضا و همکاران (Raza *et al*., 2019) گزارش کرده‌اند که کاهش یا افزایش ارتفاع بوته گیاهان به شدت رقابت بین دو گیاه بستگی دارد. به طوری که ارتفاع بوته در صورت افزایش رقابت کاهش می‌یابد و دلیل آن به سایه‌اندازی و رقابت نوری بین بوته‌های اجزای کشت مخلوط نسبت دادند. زیرا در شرایط سایه با کاهش میزان تشعشات فعال فتوسنتزی (PAR) کاهش ارتفاع گیاهان نیز قابل انتظار است. با توجه به جدول ۷، تلقیح میکروبی تأثیر بارزی در افزایش ارتفاع بادرشبی داشت. به‌گونه‌ای که از بین تیمارهای مختلف، تلقیح تلفیقی PGPR+AMF سبب افزایش ۱/۳۰ برابری این شاخص رشدی نسبت به تیمار بدون تلقیح شد. همچنین بین تیمارهای PGPR وAMF بر ارتفاع بوته اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. به نظر می رسد که کربرد تلفیقی کودهای زیستی از طریق افزیش توان زیستی تثبیت نیتروژن و همچنین جذب سایر عناصر غذایی و همچنین افزایش ترشح و سنتز هورمون‌های رشد از قبیل سیتوکینین، اکسین و جیبرلین منجر به بهبود صفات رشدی از قبیل ارتفاع بوته در گیاه بادرشبی شده است. سخنگوی و همکاران (Sokhangoy *et al*., 2012) در مطالعه خود عنوان کردند که ارتفاع گیاه شوید در تیمار تلفیقی ازتوباکتر + آزوسپریلیوم + سودوموناس به طور معنی‌داری

افزایش یافت. این محققین دلیل افزایش ارتفاع بوته شوید را به بهبود رشد ریشه در مرحله گیاهچه ای نسبت دادند که به تبع آن منجـر بـه افزایش جذب عناصر غذایی و بهبود صفات رشدی در این گیاه دارویی گردید.

جدول ۵- تجزیه واریانس کشت مخلوط و تلقیح میکروبی بر عملکرد، اجزای عملکرد و درصد اسانس گیاه بادرشبی

Table 5- ANOVA (mean of squares) of intercropping pattern and microbial inoculation on yield and yield components and essential oil percentage of Moldavian balm plant

منابع تغییرات Sources of variation	درجه آزادی Degree of freedom	ارتفاع بوته plant height	تعداد شاخه‌های فرعی Number of lateral branches	عملکرد زیست توده Biomass yield	درصد اسانس Essential oil percentage
تکرار Replication	2	9.08^{ns}	0.15^{ns}	0.20^{ns}	0.074**
الگوی کشت Planting patterns (P)	4	99.54**	2.14**	8.95**	0.044**
تلقیح میکروبی Microbial inoculation (M)	3	136.28**	4.26**	2.59**	0.020**
P×M	12	3.40^{ns}	0.08^{ns}	0.01^{ns}	0.001 ns
خطا Error	38	2.58	0.20	0.08	0.001
ضریب تغییرات CV (%)	-	5.73	9.78	5.22	4.12

ns، * و ** به ترتیب غیر معنی‌دار، معنی دار در سطح احتمال ۵ و ۱درصد

ns, * and ** non-significant, significant at 5% and 1% of probability level, respectively.

جدول ۶- عملکرد و اجزاء عملکرد بارشبی در الگوهای مختلف کشت مخلوط با لوبیا قرمز

Table 6- The yield and yield components of Moldavian balms at different intercropping patterns with common bean

الگوهای کشت Planting pattern	ارتفاع بوته plant height (cm)	تعداد شاخه‌های فرعی Number of lateral branches	عملکرد زیست توده Biomass yield (g.plant^{-1})	درصد اسانس Essential oil percentage
کشت خالص بادرشبی Solecropping of Moldavian balms	32.26a	5.14a	6.58a	0.39c
یک ردیف بادرشبی+یک ردیف لوبیا قرمز (۱:۱) 1 row Moldavian balms +1 row common bean	24.67d	4.19c	4.46c	0.52a
دو ردیف بادرشبی+ دو ردیف لوبیا قرمز (۲:۲) 2 rows Moldavian balm +2 rows bean	28.04c	4.74b	5.34b	0.55a
دو ردیف بادرشبی+ یک ردیف لوبیا قرمز (۲:۱) 2 rows Moldavian balms +1 row bean	25.25d	5.01ab	4.52c	0.47b
یک ردیف بادرشبی+ دو ردیف لوبیا (۱:۲) 1 row Moldavian balms +2 rows bean	29.45b	4.30c	5.47b	0.46b

میانگین‌های داری حروف مشترک بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن درسطح احتمالی ۵ درصد اختلاف آماری معنی‌داری ندارند.

Means with similar letters are not significantly different at 5% probability level according to Duncan test.

تعداد شاخه‌های فرعی

بیشترین تعداد شاخه‌هـای فرعـی (۵/۱۴ عـدد) از کشـت خـالص بادرشبی بدست آمد که با الگوی کشت ۲:۱ تفاوت معنی‌داری نداشـت و کمترین تعداد شاخه‌های فرعی (۴/۱۹ عـدد) از کشـت مخلـوط ۱:۱ حاصل شد که با کشت مخلوط ۱:۲ تفاوت معنـی‌داری را نشـان نـداد (جدول ۶). به نظر می‌رسد که عدم رقابت بین گونه‌ای، وجود شـرایط نوری و فضای مناسب‌تر برای رشد جوانه‌های جـانبی باعـث افـزایش تعداد شاخه‌های فرعی بادرشبی در کشت خالص نسبت بـه الگوهـای کشت مخلوط شـده اسـت. ویسـانی و همکـاران (Weisany et al., 2016) نیز کاهش تعداد شاخه‌های جانبی شوید در کشت مخلـوط بـا لوبیا قرمز را به سایه اندازی لوبیا قرمز بر شوید و کاهش جذب نـور و محدودیت رشد ساقه نسبت دادند. علیزاده و همکاران (Alizadeh et al., 2019) در کشـت مخلـوط بـزرک و بـاقلا گـزارش کردنـد کـه بیشترین تعداد شاخه‌های جانبی هر دو گونه از کشت خالص در شرایط

کاربرد تلفیقی ریزو باکتری‌های محرک رشد و قارچ میکوریزا به دلیل فراهمی بیش‌تر عناصرغذایی برای گیاهان به‌دست آمد که با نتیجه تحقیق حاضر مطابقت دارد. شکرانی و همکاران (Shokrani et al., 2017) نیز در کشت مخلوط بالنگوی شهری و نخود نشان دادند که بیشترین تعداد شاخه جانبی بالنگو از کشت خالص به دلیل افزایش فضای زیستی آن بدست آمد.

جدول ۷- اثر تلقیح میکروبی بر عملکرد و اجزاء عملکرد گیاه بادرشبی

Table 7- The effect of microbial inoculation on yield and yield components of Moldavian balms

تلقیح میکروبی Microbial inoculation	ارتفاع بوته Plant height (cm)	تعداد شاخه‌های فرعی Number of lateral branches	عملکرد زیست توده Biomass yield ($g.plant^{-1}$)	درصد اسانس Essential oil percentage
باکتری های محرک رشد PGPR	28.05b	4.50b	5.21b	0.47b
قارچهای میکوریز آربوسکولار AMF	28.67b	4.71b	5.34b	0.49b
قارچهای میکوریز آربوسکولار+ باکتری های محرک رشد AMF+PGPR	31.78a	5.38a	5.78a	0.52a
بدون تلقیح میکروبی No microbial inoculation	24.40c	4.11c	4.77c	0.43c

میانگین‌های داری حروف مشترک بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن درسطح احتمال ۵ درصد اختلاف آماری معنی‌داری ندارند.

Means with similar letters are not significantly different at 5% of probability level according to Duncan's multiple range test.

در بین تیمارهای مختلف کود زیستی تیمار ترکیبی قارچ میکوریزا + باکتری‌های حل کننده فسفات بیشترین (۵/۳۸ عدد) و تیمار عدم تلقیح میکروبی‌کمترین (۴/۱۱ عدد) تعداد شاخه‌های فرعی را دارا بودند. تیمارهای مصرف جداگانه قارچ میکوریزا و باکتری‌های حل-کننده فسفات نیز از نظر آماری با هم تفاوت معنی‌داری نداشتند (جدول ۷). به نظر می‌رسد کاربرد تلفیقی کودهای زیستی از طریق کاهش اسیدیته خاک موجب افز ایش جذب نیتروژن، فسفر و سایر عناصر غذایی شده و با تأمین این عناصر در مراحل مختلف رشدی گیاه بیشترین اثرگذاری را بر صفات رشدی گیاه از قبیل تعدا شاخه-های فرعی گذاشته است. در بررسی تأثیر کودهای زیستی بر برخی صفات مورفولوژیک و عملکرد گیاه دارویی بادرشبی نتایج نشان داد که استفاده ازکودهای زیستی باعث افزایش تعداد شاخه‌های فرعی در گیاه شد و بیشترین تعداد شاخه فرعی از تیمار تلفیقی نیتروکسین + فسفات بارور ۲ + بیوسولفور بدست آمد (Rahimzadeh et al., 2012). هاشم‌زاده و همکاران (Hashemzadeh et al., 2014) گزارش کردندکه استفاده توأم از انواع کودهای زیستی میکوریزا، نیتروکسین و سوپرنیتروپلاس (حاوی باکتری‌های محرک رشد شامل آزوسپریلیوم، سودوموناس و باسیلوس) در مقایسه با عدم کاربرد آن‌ها بیشترین تأثیر را روی تعداد شاخه فرعی در گیاه شوید داشت.

عملکرد زیست توده

شاخص رشدی ذکر شده تحت تأثیر الگوهای مختلف کشت قرار گرفت (جدول ۶). بطوری‌که بالاترین عملکرد زیست‌توده ۶/۵۸ گرم در بوته مربوط به کشت خالص بود. در بین الگوهای کشت مخلوط نیز کشت‌های مخلوط ۲:۲ و ۱:۲ بیشترین عملکرد زیست توده گیاه را به خود اختصاص دادند. در حالیکه کمترین میزان ۴/۴۶ گرم در بوته مربوط به کشت مخلوط ۱:۱ بود. با توجه به نتایج حاصل شده، احتمالا به علت وجود رقابت بین‌گونه‌ای در کشت مخلوط، ارتفاع بوته، تعداد شاخه‌های فرعی و تعداد برگ گیاه بادرشبی کاهش یافت و در نهایت منجر به کاهش عملکرد زیست‌توده گردید.

کاهش رقابت درون‌گونه‌ای و عدم وجود رقابت بین گونه‌ای در کشت خالص بادرشبی موجب بهره‌گیری بهتر از منابع محیطی شده و در نتیجه میزان فتوسنتز و به تبع آن عملکرد زیست‌توده بادرشبی را در کشت خالص نسبت به سایر تیمارهای کشت مخلوط افزایش داده است (Amani Machiani et al., 2018). رضایی چیانه و همکاران (Rezaei-Chiyaneh et al., 2020) با مقایسه میزان عملکرد ماده خشک تولید شده در الگوهای مختلف کشت مخلوط ریحان و لوبیا گزارش کردند که بیشترین میزان صفت ذکر شده در کشت خالص ریحان بدست آمد که دلیل آن را به افزایش رقابت برون گونه ای بین اجزای کشت مخلوط نسبت دادند، اما با بررسی شاخص نسبت برابری زمین مشخص شد که الگوهای مختلف کشت مخلوط از نسبت برابری زمین بالاتری برخوردار بودند که نشان دهنده مزیت کشت مخلوط بر کشت خالص دو گونه بود. ورما و همکاران (Verma et al., 2013) در کشت مخلوط نعناع فلفلی و شمعدانی به نتایج همسو با این تحقیق دست یافتند. افزایش ۱/۲۱ برابری عملکرد زیست توده در تیمار PGPR +AMF نسبت به تیمار بدون تلقیح مشاهده شد

(جدول ۷). دلیل افزایش عملکرد زیست توده با کاربرد تلفیقی کودهای زیستی به بهبود صفات رشدی و اجزای عملکرد دو گیاه نسبت داده می‌شود که در نتیجه آن میزان فتوسنتز، تولید آسیملات و تجمع ماده خشک در گیاه افزایش خواهد یافت. به نظر می‌رسد که کاربرد کودهای زیستی با بهبود جذب عناصر غذایی با افزایش تقسیم و افزایش تورژسانس سلول‌های مریستمی باعث افزایش رشد رویشی و عملکرد زیست توده در گیاهان می‌شود. وفادار یگنجه و همکاران (Vafadar-Yengeje *et al*., 2019) دریافتند که با افزودن ورمی-کمپوست به خاک نه تنها فراهمی عناصر غذایی مورد نیاز گیاه (به ویژه نیتروژن و فسفر) افزایش یافت بلکه ورمی‌کمپوست با بهبود شرایط فیزیکی و فرآیندهای حیاتی خاک، ضمن ایجاد یک بستر مناسب برای رشد ریشه، باعث افزایش تولید ماده خشک بادرشبی در کشت مخلوط با باقلا گردید. بر اساس تحقیق صلاحی و همکاران (Salahi *et al*., 2019) استفاده از کود بیولوژیک در کشت مخلوط شنبلیله و کتان روغنی، زیست توده شنبلیله را افزایش داده است. بر اساس یافته‌های بانچیو و همکاران (Banchio *et al*., 2009) استفاده از کود بیولوژیک، زیست توده، درصد اسانس و عملکرد اسانس ریحان را افزایش داده است.

درصد اسانس

نتایج مقایسه میانگین نشان داد که درصد اسانس بادرشبی تحت تاثیر معنی‌دار الگوهای مختلف کشت قرار گرفت (جدول ۶). بیشترین درصد اسانس (۰/۵۵ درصد) در کشت مخلوط ۲:۲ به‌دست آمد و کمترین آن (۰/۳۹ درصد) به کشت خالص بادرشبی تعلق داشت. هر چند که بین کشت مخلوط ۲:۲ و ۱:۱ از نظر آماری اختلاف معنی-داری وجود نداشت. میزان درصد اسانس بادرشبی در الگوهای کشت مخلوط ۱:۱، ۲:۲، ۲:۱ و ۱:۲ به ترتیب ۳۳، ۴۱، ۲۲ و ۱۸ درصد بیشتر از کشت خالص این گیاه بود. محققان دیگری در مطالعه‌ای که بر روی اثر تراکم بر خصوصیات زراعی و عملکرد مرزه و شبدر ایرانی در کشت مخلوط انجام دادند به این نتیجه رسیدند که درصد اسانس در تیمارهای کشت مخلوط بیشتر از کشت خالص بدست آمد (Hasanzadeh Aval *et al*., 2010). از آنجا که اسانس ترکیبی ترپنوئیدی بوده که واحدهای سازنده آن نیاز به ATP و NADPH دارند و با در نظر گرفتن این مطلب که حضور عناصر ضروری برای تشکیل ترکیب‌های اخیر ضروری می‌باشد. به نظر می‌رسد که کشت مخلوط گیاهان داورپی با حبوبات از طریق تثبیت زیستی نیتروژن و فراهمی عناصر اصلی سازنده اسانس موجب افزایش درصد اسانس شده است.

در ارتباط با تلقیح میکروبی نیز در این میان تیمارهای میکروبی، تیمار تلفیقی باکتری و قارچ نسبت به تیمارهای جداگانه بیشترین تأثیر را در افزایش درصد اسانس داشتند، به طوری که ۰/۵۲ درصد اسانس با بیشترین میزان در این تیمار مشاهده شد (جدول ۷). میزان اسانس تولید شده با کاربرد PGPR، میکوریزا و تلفیق دو کود زیستی به ترتیب ۹، ۱۴ و ۲۱ درصد بیشتر از عدم مصرف (شاهد) بود. عواملی مانند تلقیح میکروبی می‌تواند تولید اسانس را در برخی از گیاهان تحت تأثیر قرار دهد. اثر این عوامل بر ساز و کار گیاه و به تبع آن تولید متابولیت‌های ثانویه، بستگی به شرایط محیطی مانند فراهمی مواد معدنی در خاک، نوع خاک، شرایط اقلیمی و نوع گیاه دارد. افزایش میزان اسانس در اثر مصرف کاربرد کودهای زیستی به دلیل نقش مهم عناصر غذایی، به‌خصوص نیتروژن در توسعه و تقسیم سلول‌های جدید حاوی اسانس، کانال‌های اسانس، مجاری ترشحی و کرک‌های غده‌ای می‌باشد، بنابراین به‌نظر می‌رسد که دسترسی بهتر و بیشتر عناصر غذایی از طریق مصرف کودهای زیستی و افزایش کارایی مصرف منابع در کشت مخلوط منجر به افزایش ترکیبات اسانس بادرشبی شد (Amani Machiani *et al*., 2019). بطور مشابه، رضایی چیانه و همکاران (Rezaei-Chiyaneh *et al*., 2020) گزارش کردند کاربرد PGPR منجر به افزایش ۳۹/۳ درصدی اسانس رازیانه نسبت به عدم کاربرد آن گردید که دلیل آن را به دسترس بودن عناصر غذایی و بهبود تولید مواد پیش ساز اسانس نسبت دادند. رضائی چیانه و دباغ محمدنسب (Rezaei-Chiyaneh and Dabbagh Mohammadi Nasab, 2014) در کشت مخلوط زنیان و شنبلیله گزارش کردند که بیشترین درصد اسانس دانه زنیان در سیستم تغذیه تلفیقی‌کودهای زیستی (شامل فسفاته بارور ۲ + ازتوباکتر) و کود شیمیایی به دلیل فراهمی عناصر غذایی بدست آمد.

ترکیبات شیمیایی اسانس

بر اساس یافته‌های این تحقیق، ۱۴ ترکیب در اسانس بادرشبی شناسایی شد (جدول ۸). آنالیز شیمیایی ترکیبات اسانس نشان داد که ترکیبات غالب اسانس بادرشبی شامل جرانیل استات (۴۴/۴۰-۳۴/۵۴ درصد)، جرانیال (۲۳/۸۴ – ۱۸/۰۲ درصد)، جرانیول (۱۵/۹۹ – ۱۰/۰۷ درصد) و نرال (۱۷/۱۷ – ۱۲/۴۳ درصد) بودند. بیشترین میزان جرانیل استات و نرال در الگوی کشت مخلوط ۲:۲ با کاربرد تلفیقی PGPR +AMF بدست آمد که نسبت به تیمار شاهد ۱۷/۷ و ۳۸/۱ درصد افزایش نشان داد. همچنین، بیشترین میزان ترکیبات جرانیال در الگوی کشت مخلوط ۲:۱ با کاربرد تلفیقی PGPR +AMF حاصل شد که نسبت به تیمار شاهد بترتیب ۳۲/۳ درصد افزایش نشان داد. علاوه بر این، کمترین میزان سه ترکیب ذکر شده در کشت خالص بادرشبی و بدون مصرف هیچ کودی بدست آمد.

جدول ۸- اجزای اسانس گیاه بادرشبی در الگوهای مختلف کشت و منابع کودی

Table 8- Proportion of Moldavian balms EO constituents using different cropping patterns and fertilizer sources

Cropping pattern*

No.	Components	RI*	Ms*	Ms+AMF	Ms+PGPR	Ms+PGPR+AMF	1M:1CB	1M:1CB+AMF	1M:1CB+PGPR	1M:1C+PGPR+AMF
1	Linalool	1092	1.08	1.11	1.76	2.61	0.86	2.98	1.11	0.79
2	*trans*-Pinocarveol	1132	1.05	0.89	0.7	0.56	1.8	0.2	0.12	0.87
3	*trans*-Verbenol	1145	0.6	0.4	0.13	0.51	1.08	0.8	0.11	0.65
4	*cis*-Chrysanthenol	1160	1.06	0.16	0.8	0.23	1.7	1.01	0.68	0.95
5	Nerol	1228	1.18	1.95	1.27	0.28	5.48	0.99	1.01	1.42
6	Neral	1240	12.43	13.17	13.06	14.38	13.04	14.42	13.71	14.86
7	Geraniol	1255	14.74	14.14	15.49	15.99	11.49	12.26	12.43	11.38
8	Geranial	1270	18.02	19.92	19.58	19.70	18.67	21.84	20.17	20.34
9	Methyl geranate	1323	0.53	0.08	0.17	0.54	0.24	0.38	0.68	0.84
10	Neryl acetate	1365	1.34	0.24	0.43	0.42	0.18	0.92	0.54	0.33
11	Geranyl acetate	1383	34.44	35.12	36.32	36.19	37.13	37.08	39.29	38.23
12	Germacrene D	1480	1.42	2.18	0.55	0.28	0.31	0.65	0.42	0.08
13	Spathulenol	1576	1.39	2.12	0.99	0.48	1.24	0.21	1.09	1.39
14	Caryophyllene oxide	1580	1.73	2.52	1.70	1.77	1.03	0.82	1.56	1.45
	Total identified (%)		90.95	94.14	92.95	93.76	9305	94.54	92.9	93.58

No.	Components	2M:2CB	2M:2CB+AMF	2M:2CB+PGPR	2M:2C+PGPR+AMF	2M:1CB	2M:1CB+AMF	2M:1CB+PGPR	2M:1C+PGPR+AMF	1M:2CB	1M:2CB+AMF	1M:2CB+PGPR	1M:2CB+PGPR+AMF
1	Linalool	1.11	1.2	1.06	0.08	1.17	1.41	0.85	0.98	1.02	1.79	1.11	1.2
2	*trans*-Pinocarveol	1.1	0.16	0.4	0.42	1.7	1.32	0.40	0.97	1.12	0.85	1.12	0.26
3	*trans*-Verbenol	1.19	0.79	0.16	0.26	0.03	1.15	0.17	0.8	1.28	0.15	0.99	0.79
4	*cis*-Chrysanthenol	1.99	0.19	0.6	0.96	0.11	1.5	0.74	0.65	1.68	0.95	0.32	0.12
5	Nerol	2.64	0.83	0.78	0.75	0.27	0.28	0.98	0.69	2.01	0.42	0.94	0.19
6	Neral	14.07	17.81	16.43	17.17	14.06	13.38	15.04	15.42	13.71	15.86	13.07	15.81
7	Geraniol	10.07	10.94	12.74	12.14	11.49	12.09	13.49	14.24	10.43	11.38	10.47	12.04
8	Geranial	19.46	19.47	20.02	20.92	19.58	20.70	23.67	23.84	20.17	20.34	19.46	21.47
9	Methyl geranate	0.57	0.18	0.19	0.14	0.14	0.38	0.36	0.99	0.50	0.38	0.27	0.24
10	Neryl acetate	0.13	0.17	0.18	0.28	9.66	0.19	0.41	0.09	0.47	0.32	0.14	0.68
11	Geranyl acetate	35.73	37.44	37.21	40.54	38.90	36.34	38.67	39.68	34.88	35.09	37.70	38.60
12	Germacrene D	0.17	0.43	0.58	0.77	0.05	0.66	0.45	0.90	1.52	1.09	1.90	0.87
13	Spathulenol	0.12	1.74	1.36	0.23	1.43	0.63	0.67	0.18	1.88	1.44	3.88	0.89
14	Caryophyllene oxide	2.82	1.73	1.52	0.11	1.10	1.21	0.32	0.45	1.32	1.32	2.25	0.11
	Total identified (%)	91.68	92.08	93.23	94.77	91.49	91.24	96.22	99.88	91.91	91.38	91.62	93.27

* RI, (Retention indices): شاخص بازداری

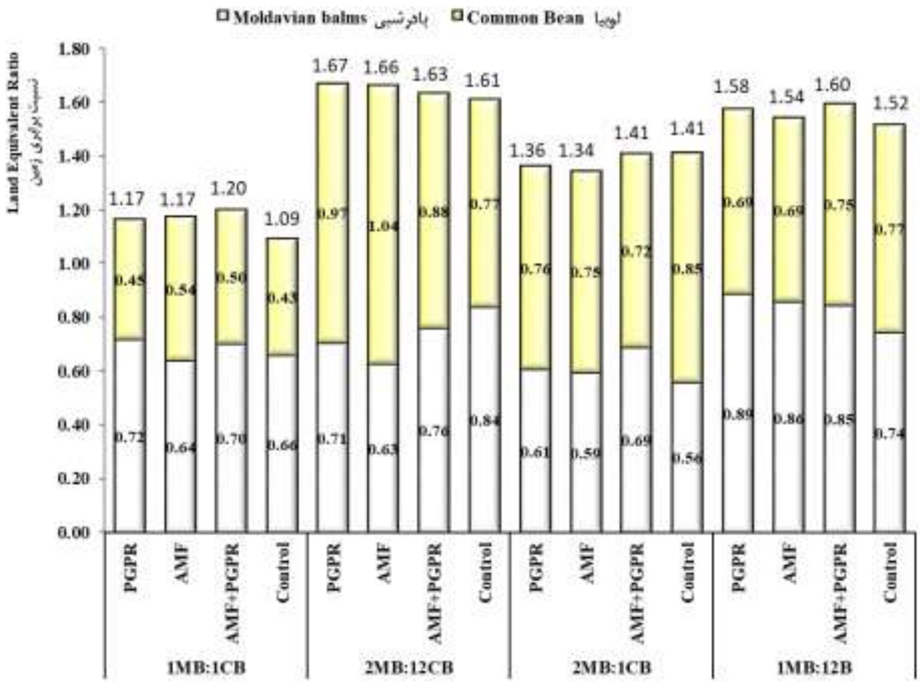
* 1:1 ، 2:2، 12، 1:2 بترتیب نشان دهنده تعداد ردیفهای کشت لوبیا و بادرشبی در کشت مخلوط و C، AMF، PGPR بترتیب نشان دهنده عدم مصرف کود، قارچ میکوریزا و ریزوباکتری محرک رشد است.

* Ms: Moldavian balms sole cropping, C: Control, AMF: Arbuscular mycorrhizal fungi, PGPR: Plant growth promoting rhizobacteria; 1M:1CB, 2M:1CB, 2M:1CB and 1M:2CB indicate the ratios of Moldavian balms and common bean in intercropping pattern.

با توجه به این موضوع که حضور عناصری نظیر نیتروژن و فسفر برای تشکیل ترکیب‌های نامبرده شده ضروری می‌باشد (Amani Machiani *et al*., 2018). از این رو کاربرد تلفیقی کودهای زیستی در الگوهای کشت مخلوط ازطریق جذب کارآمد فسفر و تا حدودی نیتروژن توسط ریشه، موجب بهبود برخی از ترکیبات اسانس بادرشبی شد. بهبود برخی از ترکیبات اسانس بادرشبی کشت مخلوط نسبت به کشت خالص آن را می‌توان به افزایش فراهمی نیتروژن از طریق تثبیت بیولوژیک توسط لوبیا، فراهمی عناصر غذایی از طریق کودهای زیستی نسبت داد. از آنجا که نیتروژن یکی از عناصر غذایی مؤثر بر میزان فعالیت آنزیم‌های فتوسنتزی می‌باشد و از طرفی اسانس‌ها جزئی از متابولیت‌های ثانویه گیاهی هستند و میزان آن‌ها به شدت به میزان متابولیت‌های اولیه گیاهی (کربوهیدرات‌ها، پروتئین‌ها، کلروفیل‌ها و...) بستگی دارد؛ بنابراین هر عاملی که باعث افزایش فتوسنتز گیاهی گردد می‌تواند باعث بالا رفتن متابولیت‌های ثانویه گیاهی از جمله اسانس‌ها شود (Singh *et al*., 2010). رضایی چیانه و همکاران (Rezaei-Chiyaneh *et al*., 2021) گزارش کردند که کاربرد کودهای زیستی و ورمی کمپوست در الگوهای مختلف کشت مخلوط بالنگو و شنبلیله کیفیت اسانس تولید شده بالنگو را بهبود بخشید.

نسبت برابری زمین

نسبت برابری زمین معیار مهمی برای بررسی کارایی سیستم کشت مخلوط نسبت به سیستم تک کشتی است. با توجه به نتیجه آزمایش نسبت برابری زمین کل در تمامی تیمارهای مخلوط بیشتر از یک بود که نشان دهنده برتری کشت مخلوط نسبت به تک کشتی در بین الگوهای کشت و کارایی بالای تلقیح میکروبی می‌باشد. کشت مخلوط ۲:۲ در شرایط تلقیح با PGPRها نسبت برابری زمین برابر با ۱/۶۷ بود که بیشترین میزان را در بین الگوهای مختلف کشت مخلوط به خود اختصاص داد. یعنی سودمندی استفاده از زمین در این تیمار۶۷ درصد بیشتر از کشت خالص دو گونه بود (شکل ۲). کشت مخلوط زمانی سودمند است که عملکرد کشت مخلوط، بیشتر از حداکثر محصول تک‌کشتی باشد.



شکل ۲- الگوهای مختلف کشت مخلوط لوبیا قرمز و بادرشبی در شرایط تلقیح میکروبی

یک ردیف بادرشبی+یک ردیف لوبیا (۱ MB: ۱ CB) (1 row moldavian balms +1 row bean)، دو ردیف بادرشبی+دو ردیف لوبیا (۲ MB: ۲ CB) (2 rowmoldavian balm +2 row bean)، یک ردیف بادرشبی+ دو ردیف لوبیا (۱ MB: ۲ CB) (1 row moldavian balms +2 row bean)، دو ردیف بادرشبی+ یک ردیف لوبیا (۲ MB: ۱ CB) (2 row moldavian balms +1 row bean)، بدون تلقیح میکروبی (No microbial inoculation). AMF و PGPR به‌ترتیب نشان دهنده باکتری‌های محرک رشد و قارچ میکوریزا آربوسکولار می‌باشند.

Figure 2- Different intercropping patterns of common bean and moldavian balms in microbial inoculation conditions

AMF and PGPR are plant growth promoting and arbuscular mycorrhizal fungi, respectively

اضافه عملکرد به‌دست آمده را می‌توان به استفاده بهتـر از منـابع محیطی از قبیل نور، آب و مواد غذایی باشد. نسبت برابری زمین کـل بیشتر از یک نشان می‌دهد که علاوه بـر اثـرات تـداخلی مثبـت بـین گیاهان در کشت مخلوط، رقابت بـین گونـه‌ای کمتـر از رقابـت درون گونه‌ای می‌باشد. به عبارت دیگر اگر LER بیشتر از یک باشد، نشـان دهنده آن است که تسهیل سازی جذب مواد و روابط متقابل بـه نحـو مؤثری بیشتر از رقابت در کشت مخلوط بوده است. محققان دیگـری در کشـت مخلـوط رازیانـه و بـاقلا (Mohammadi and Rezaei-Chiyaneh, 2019) و سویا و نعنـاع فلفلـی (Amani Machiani *et al.*, 2018) تحـت تـاثیر منـابع کـودی مقـدار LER کـل در تمـام تیمارهای مخلوط بالاتر از یک گزارش کردند که این امر نشان دهنده برتری کشت مخلوط در مقایسه با کشت خالص است.

نتیجه‌گیری

نتـایج حاصـل از ایـن تحقیـق نشـان داد کـه در شـرایط تلقـیح میکروبی تمامی صفات ذکر شـده در لوبیـا و بادرشـبی در مقایسـه بـا شرایط بدون تلقیح میکروبـی افـزایش یافـت. بیشـترین مقـادیر ایـن صفات از تیمار تلفیقی این تلقیح حاصل شد. همچنین، بیشترین میزان ژرانیل استات (۴۰/۵۴) و نرال (۱۷/۱۷) در الگوی کشت مخلـوط ۲:۲ با کاربرد تلفیقی PGPR +AMF بدست آمـد. تمـامی شـاخص‌هـای رشدی در لوبیا و بادرشبی در کشت خالص نسبت به سـایر الگوهـای کشت مخلوط بیشتر بود، اما بیشـترین نسـبت برابـری زمـین از تیمـار کشت مخلوط ۲:۲ در شرایط تلقیح با PGPRها حاصل شد که معادل ۶۷ درصد افزایش در بهره‌وری اسـتفاده از زمـین (نسـبت بـه کشـت خالص دو گونه) بود که بیانگر امکان بهره‌برداری بیشتر از واحد سطح را در کشت مخلوط نشان می‌دهد. بنابراین می‌توان چنین نتیجه گرفت که کشت مخلوط یکی از راهکارهـای مناسـب بـرای کـاهش سـطح زیرکشت نسبت کشت خالص است و نیز ایـن نـوع کشـت همـراه بـا باکتری‌های PGPR و قارچهای AMF مـی‌توانـد مصـرف کودهـای شـیمیایی در کشـاورزی را کـاهش داده و موجـب بهبـود پایـدار در اکوسیستم‌های کشاورزی، به ویژه در نظام‌های تولید گیاهان دارویـی، مناسب‌تر باشد.

منابع

1. Alizadeh K., Rezaei-Chiyaneh E., Amirnia R., and Barin M. 2019. The Effect of Combined Application of PGPR and Mycorrhizal Fungi in Intercropping of Linseed (*Linum usitatissimum* L.) and Faba bean (*Vicia faba* L.) on Growth Characteristics and Seed Yield. Iranian Journal of Field Crops Research 17(1): 123-140. (In Persian). https://doi.org/10.22067/GSC.V17I1.71955.
2. Amani Machiani M., Javanmard A., Morshedloo M.R., and Maggi F. 2018. Evaluation of competition, essential oil quality and quantity of peppermint intercropped with soybean. Industrial Crops and Products 111: 743–754. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.11.052.
3. Amani Machiani M., Javanmard A., Morshedloo M.R., and Maggi F. 2018. Evaluation of yield, essential oil content and compositions of peppermint (*Mentha piperita* L.) intercropped with faba bean (*Vicia faba* L.). Journal of Cleaner Production 171: 529–537. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.10.062.
4. Amani Machiani M., Rezaei-Chiyaneh E., Javanmard A., Maggi F., and Morshedloo M.R. 2019. Evaluation of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) seed yield and quali-quantitative production of the essential oils from fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.) and dragonhead (*Dracocephalum moldavica* L.) in intercropping system under humic acid application. Journal of Cleaner Production 235: 112-122. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.06.241.
5. Banchio E., Xie X., Zhang H., and Pare P.W. 2009. Soil bacteria elevate essential oil accumulation and emissions in sweet basil. Journal of Agricultural and Food Chemistry 57: 653-657. https://doi.org/10.1021/jf8020305.
6. Clevenger J.F. 1928. Apparatus for determination of essential oil. Journal of the American Pharmacists Association 17: 346-349. https://doi.org/10.1002/jps.3080170407.
7. Daneshnia F., Amini A., and Chaich M.R. 2015. Berseem clover quality and basil essential oil yield in intercropping system under limited irrigation treatments with surfactant. Agriculture Water Management 164: 331-339. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2015.10.036.
8. Hamzei J., and Sedighi Kamel J. 2020. Effect of Green Bean (*Phaseolus vulgaris L.*) Additive iIntercropping on Growth, Potato (*Solanum tuberosum L.*) Equivalent Yield and Land Use Efficiency under Different Levels of N Fertilizer. Journal of Agroecology 11(4): 1409-1422. (In Persian). https://doi.org/10.22067/JAG.V11I4.70706.
9. Hasanzadeh Aval F., Kocheki A.R., Khazaei Nassiri H.R., and Mahallati M. 2010. Effect of density on yield and agronomic characteristics of savory and Persian clover intercropping. Iranian Journal of Field Crop Research 8(6): 920-929. (In Persian). https://doi.org/10.22067/GSC.V8I6.8038.
10. Hashemzadeh F., Mirshekari B., Yarnia M., Rahimzadeh Khoei F., and Tarinejhad A. 2014. Effect of bio and chemical fertilizers on yield, yield components and mycorrhizal colonization percent on common dill (*Anethum graveolens* L.). Iranian Journal Crop Ecophysiology 31(3): 257-270. (In Persian).

https://doi.org/10.22067/JAG.V10I3.30996.

11. Hirpa T. 2014. Effect of intercrop row arrangement on maize and haricot bean productivity and the residual soil. World Journal of Agricultural Sciences 4: 69-77. ID: 55222743.
12. Ilbas A.I., and Sahin S. 2007. Glomus fasiculatum inoculation improves soybean production. Acta Agric. Soil and Plant 55: 287-292. https://doi.org/10.1080/09064710500218761.
13. Katebi R., Khalili Mahalle J., Khwarazmi K., Valilo R., and Pirzad A. 2016. Effect of plant density on some agronomical traits of corn in intercropping with cowpea. Journal of Agricultural Science and Sustainable Production 26(1): 1-18. (In Persian)
14. Khorramdel S., Koocheki A., Nassiri Mahallati M., and Ghorbani R. 2011. Effect of biofertilizers on the yield and yield components of black cumin (*Nigella sativa L.*). Iranian Journal of Field Crops Research, 8(5): 758-766. (In Persian). https://doi.org/10.22067/GSC.V8I5.8017.
15. Koocheki A., Fallahpour F., and Aminghafouri A. 2020. Determining the best width of strip in row intercropping of sesame (*Sesamum indicum* L.) and flax (*Linum usitatissimum* L.) and its effect on yield, yield components and weed density. Journal of Agroecology 11(4): 1483-1496. (In Persian). https://doi.org/10.22067/jag.v11i4.29585.
16. Mohammadi H., and Rezaei-Chiyaneh E. 2019. Effect of vermicompost application on seed yield and quality in fababean (*Vicia faba* L.) and fennel (*Foeniculum vulgare* L.) intercropping. Iranian Journal of Crop Sciences 21(2): 139-154. (In Persian). https://doi.org/10.29252/abj.21.2.139.
17. Nagananda G.S., Das A., Bhattacharya S., and Kalpana T. 2010. In vitro studies on the effects of bio-fertilizers (*Azotobacter and Rhizobium*) on seed germination and development of (*Trigonella foenum-graecum* L.) using a novel glass marble containing liquid medium. International Journal of Botany 6: 394-403. https://doi.org/10.3923/ijb.2010.394.403.
18. Raei Y., Shariati J., and Weisany W. 2015. Effect of Biological Fertilizers on Seed Oil, Yield and Yield Components of Safflower (*Carthamus tinctorius* L.) at Different Irrigation Levels. Journal of Agricultural Science and Sustainable Production 25(1): 65-84. (In Persian)
19. Rahimzadeh S., Sohrabi Y., Heidari G.H., and Pirzad A. 2012. Effect of biofertilizers application on some morphological characteristics and yield of dragonhead (*Dracocephalum moldavica* L.). Iranian Journal of Horticulture Science 25(3): 335-343. (In Persian). https://doi.org/10.22067/jhorts4.v1390i0.11378.
20. Raza M.A., Feng L.Y., Van Der Werf W., Cai G.R., Khalid M.H.B., Iqbal N., and Khan I. 2019. Narrow-wide-row planting pattern increases the radiation use efficiency and seed yield of intercrop species in relay-intercropping system. Food and Energy Security 8(3): 170. https://doi.org/10.1002/fes3.170.
21. Rezaei-Chiyaneh E., and Dabbagh Mohammadi Nasab A. 2014. Evaluation of integrated application of biofertilizers on quantitative and qualitative yield of ajowan in strip intercropping with of fenugreek. Journal of Agroecology 3(6): 582-594. (In Persian). https://doi.org/10.22067/jag.v6i3.25814.
22. Rezaei-Chiyaneh E., and Gholinezhad E. 2015. Agronomic characteristics of intercropping of additive series of chickpea (*Cicer arietinum* L.) and black cumin (*Nigella sativa* L.). Journal of Agroecology 7(3): 381-396. (In Persian). https://doi.org/10.22067/JAG.V7I3.35858.
23. Rezaei-Chiyaneh E., Rasouli Y., Jalilian J., and Ghodsi M. 2019. Evaluation of quantitative and qualitative yield of chickpea (Cicer arietinum L.) and barley (Hordeum vulgare L.) in intercropping affected by biological and chemical fertilizers in supplemental irrigation condition. Journal of Agroecology 11(1):69-85. (In Persian). https://doi.org/10.22067/jag.v11i1.71201.
24. Rezaei-Chiyaneh E., Amani Machiani M., Javanmard A., Maggi F., and Morshedloo M.R. 2020. Vermicompost application in different intercropping patterns improves the mineral nutrient uptake and essential oil compositions of sweet basil (*Ocimum basilicum* L.). Journal of Soil Science and Plant Nutrition 21(1): 450-466. https://doi.org/10.1007/s42729-020-00373-0.
25. Rezaei-Chiyaneh E., Amirniaa R., Amani Machiani M., Javanmard A., Maggi F., and Morshedloo M.R. 2020. Intercropping fennel (*Foeniculum vulgare* L.) with common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) as affected by PGPR inoculation: A strategy for improving yield, essential oil and fatty acid composition. Scientia Horticulturae Journal 261: 1-11. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.108951.
26. Rezaei-Chiyaneh E., Mahdavikia H., Battaglia M.L., Thomason W.E., and Caruso G. 2021. Intercropping and fertilizer type impact seed productivity and secondary metabolites of dragon's head and fenugreek. Scientia Horticulturae 287: 110277. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110277.
27. Salahi T., Yadavi A., Salehi A., and Balouchi H. 2019. The effect of mycorrhiza biofertilizer on yield and yield components of linseed (*Linum usitatissimum* L.) and fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.) in intercropping. Journal of Agricultural Science and Sustainable Production 29(4): 1-17. (In Persian)
28. Shokrani F., Jalilian J., Pirzad A., and Rezaei-Chiyaneh E. 2017. Effect of phosphate solubilizing bacteria inoculation on yield's characteristics of dragon's head (*Lallemantia iberica*) and chickpea (*Cicer aritinum* L.) in monoculture and intercropping conditions. Iranian Journal of Rainfed Agriculture 6(2): 228-209. (In Persian). https://doi.org/10.22092/IDAJ.2018.116307.
29. Singh M., Singh A., Singh R.S., Tripathi A.K., Singh D., and Patra D. 2010. Cowpea (*Vigna unguiculata* L.

Walp.) as a green manure to improve the productivity of menthol mint (*Mentha arvensis* L.) intercropping system. Industrial Crops and Products 31: 289–293. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2009.11.004.

30. Sokhangoy S.H., Ansari K.H., and Eradatmand Asli D. 2012. Effect of bio- fertilizers on performance of dill (*Anethum graveolnes L*.). Iranian Journal of Plant Physiology 4(2): 547-552. (In Persian). https://doi.org/20.1001.1.22285458.1394.5.19.7.9.
31. Sparks D.L., Page A.L., Helmke P.A., Loeppert R.H., Soltanpour P.N., Tabatabai M.A., Johnston C.T., and Sumner M.E. 1996. Methods of soil analysis Part 3- Chemical methods. p. 5-1390. Soil Science Society of America Book Ser.Madison, Wiscons in, USA. https://doi.org/10.2136/sssabookser5.3.
32. Vafadar-Yengeje L., Amini R., and Dabbagh Mohammadi Nasab A. 2019. Chemical compositions and yield of essential oil of Moldavian balm (*Dracocephalum moldavica* L.) in intercropping with faba bean (*Vicia faba* L.) under different fertilizers application. Journal of Cleaner Production 239: 118033. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118033.
33. Vahedi R., Rasouli-Sadaghiani M.H., and Barin M. 2018. The effect of rhizosphere on availability of soil elements in the presence of biochar and compost pruning waste and mycorrhizal inoculation. Journal of Soil Management and Sustainable Production 8(1): 107-124. (In Persian). https://doi.org/10.22069/EJSMS.2018.14022.1775.
34. Verma R.K., Chauhan A., Verma R.S., Rahman L., and Bisht A. 2013. Improving production potential and resourses use efficiency of peppermint (*Mentha piperita* L.) intercropped with geranium (*Pelargonium graveolens* L. Herit ex Ait) under different plant density. Industrial Crops and Products 44: 577-582. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2012.09.019.
35. Weisany W., Raei Y., Zehtab- Salmasi S., and Sohrabi Y. 2016. Effect of arbuscular mycorrhiza fungi on yield and yield components of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) and dill (*Anethum graveolens* L.) in mono and intercropping system. Journal of Agricultural Science and Sustainable Production 26(3): 1-19. (In Persian)